

Universität Zürich
Zentrum für Zahnmedizin
Klinik für Präventivzahnmedizin, Parodontologie und Kariologie (PPK)
Klinikdirektor: Prof. Dr. med. dent. Thomas Attin

Arbeit unter Leitung von Dr. med. dent. Florian Just Wegehaupt

Einfluss des pH-Wertes erosiver Attacken auf das anti-erosive Potential einer Zinnchlorid-haltigen Mundspülung

INAUGURAL- DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnmedizin
an der Medizinischen Fakultät
der Universität Zürich

vorgelegt von
Elisabeth Cathérine Zeller

Genehmigt auf Antrag von Prof. Dr. med. dent. Thomas Attin
Zürich 2015

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| 1 Zusammenfassung | 1 |
| 2 Einleitung..... | 3 |
| 3 Literaturübersicht | 5 |
| 3.1 Anatomie & Histologie des Schmelzes | 5 |
| 3.2 Zahnabnutzung | 6 |
| 3.3 Ätiologie & klinisches Erscheinungsbild von Erosionen | 6 |
| 3.4 Pathomechanismus von Erosionen im Schmelz | 9 |
| 3.5 Prophylaxe- & Therapiemöglichkeiten von Erosionen | 10 |
| 3.6 Wirkungsmechanismus von Fluorid bei Erosionen | 11 |
| 3.7 Wirkungsmechanismus von polyvalenten Metallionen bei Erosionen | 12 |
| 3.8 Ziel der Studie | 14 |
| 4 Versuchsplanung..... | 15 |
| 4.1 Messung der Schmelzerosion mittels Profilometrie | 15 |
| 4.2 Versuchsablauf | 16 |
| 5 Material und Methoden | 17 |
| 5.1 Probenherstellung | 17 |
| 5.2 Herstellung der Lösungen | 18 |
| 5.2.1 Herstellung von künstlichem Speichel | 18 |
| 5.2.2 Herstellung der Säuren | 19 |
| 5.3 De-/ Remineralisationszyklen | 19 |
| 5.4 Bürstabrasion | 20 |
| 5.5 Chemische Analyse der fluoridhaltigen Lösungen | 21 |
| 5.5.1 Bestimmung der Fluoridkonzentration | 21 |
| 5.5.2 Bestimmung des pH-Wertes | 22 |
| 5.6 Profilometrie | 22 |
| 5.7 Statistik | 23 |
| 6 Resultate..... | 25 |
| 6.1 Mittlerer Schmelzabtrag | 25 |
| 6.2 Schmelzverlust in Prozent der Kontrolle | 28 |
| 7 Diskussion..... | 31 |
| 8 Schlussfolgerung..... | 35 |
| 9 Literaturverzeichnis | 36 |
| 10 Danksagung | 47 |
| 11 Curriculum Vitae | 48 |

1 Zusammenfassung

Ziel: Ziel dieser In-vitro-Studie war es, den Einfluss des pH-Wertes erosiver Attacken auf den anti-erosiven Effekt einer Zinnchlorid-Mundspüllösung im Vergleich zu einer Fluorid-Mundspüllösung zu untersuchen.

Material & Methoden: Sechsenddreissig bovine Unterkieferfrontzähne wurden in drei Hauptgruppen (1: pH 2.7, 2: pH 3.0, 3: pH 4.0) (je n = 12 Zähne) unterteilt. Innerhalb dieser Hauptgruppen wurden wiederum drei Untergruppen (A: Kontrolle (Keine Flüssigkeit), B: Elmex Erosionsschutz (AmF/NaF/SnCl₂), C: Fluorid-Mundspüllösung (AmF/NaF)) gebildet.

Die Proben jeder Gruppe wurden 1 d lang konditioniert (Lagerung für 9 x 2 min in HCl mit gruppenspezifischen pH-Wert innerhalb 12 h, danach 12 h Lagerung in künstlichem Speichel). Anschliessend erfolgte eine Basismessung des Oberflächenprofils mit einem Kontaktprofilometer.

Daraufhin erfolgte ein 10 d De-/ Remineralisationszyklus mit Bürsten der Proben. Jeweils 1 h vor und 1 h nach den Säureangriffen wurden die Proben gebürstet und anschliessend 1 min lang in die gruppenspezifische Testlösung eingelegt.

Der erosiv/abrasive Schmelzverlust wurde nach 10 d mit dem Kontaktprofilometer bestimmt. Die statistische Auswertung des Substanzabtrages sowie des Substanzabtrages in Prozent der Kontrolle erfolgte mittels ANOVA und Bonferroni-post-hoc-Test.

Resultate: Für alle Behandlungen (A: Kontrolle (Keine Flüssigkeit), B: Elmex Erosionsschutz (AmF/NaF/SnCl₂), C: Fluorid-Mundspüllösung (AmF/NaF)) konnte eine signifikante Abnahme des Substanzverlustes mit zunehmendem pH-Wert beobachtet werden. Innerhalb desselben pH-Wertes (1: pH 2.7, 2: pH 3.0, 3: pH 4.0) konnte jeweils

der geringste Substanzverlust für die Proben beobachtet werden, die mit Elmex Erosionsschutz behandelt wurden. Auch der Schmelzverlust in Prozent der Kontrolle zeigte die gleiche Tendenz. Bei allen drei pH-Werten zeigte die Zinnchlorid-Lösung signifikant ($p = 0.00$) geringere Werte (pH 2.7: $28.8 \pm 5.7\%$; pH 3.0: $16.9 \pm 3.7\%$; pH 4.0: $25.7 \pm 9.9\%$) im Vergleich zur Fluorid-Mundspüllösung in Prozent der Kontrolle. Der Vergleich von Elmex Erosionsschutz innerhalb der drei pH-Werte zeigte den statistisch signifikant ($p = 0.00$) geringsten Abtrag in Prozent der Kontrolle bei pH-Wert 3.0.

Schlussfolgerungen: Da kein signifikanter Unterschied im Substanzverlust in Prozent der Kontrolle für Elmex Erosionsschutz bei pH 2.7 und pH 4.0 zu beobachten war, kann man schlussfolgern, dass der pH-Wert der erosiven Attacken keinen Einfluss auf den anti-erosiven Effekt von Elmex Erosionsschutz hat.

2 Einleitung

In den letzten Jahren erlangte der Zahnhartsubstanzverlust aufgrund Erosionen zunehmend Aufmerksamkeit. Erosionen werden generell als häufige Ursache für Zahnhartsubstanzverlust betrachtet (Bartlett 2005). Jeaggi und Lussi (2014) stellten eine stetig wachsende Prävalenz von Erosionen fest. Auch bei Kindern zeigen klinische Studien eine recht hohe Prävalenz (25%) von erosiven Läsionen (Nahás Pires Corrêa et al. 2011). Folglich sind bei Erosionen die Diagnose sowie prophylaktische und therapeutische Ansätze in der zahnärztlichen Praxis für den Langzeit-Erhalt der Zähne von grosser Bedeutung.

Oberflächlicher Zahnhartsubstanzverlust verursacht durch Säuren ohne bakterielle Beteiligung wird als Zahnerosion definiert (Zipkin und McClure 1949). Ursachen können extrinsischer oder intrinsischer Natur sein. Zu den extrinsischen Säuren werden säurehaltige Getränke und saure Nahrungsmittel (zum Beispiel Grapefruit, Softdrinks etc.) gezählt. Intrinsische Säuren haben ihren Ursprung im Magen. Diese Säuren gelangen durch Magenproblematiken (zum Beispiel Reflux oder Alkoholabusus) oder psychosomatische Essstörungen (Bulimie oder Anorexia Nervosa) in die Mundhöhle (Bartlett 2005).

Der Kontakt der Säure mit der Schmelzoberfläche führt zur initialen Demineralisation der Schmelzoberfläche. Auf diesen Prozess folgt der schichtweise Verlust von Schmelz mit einer verbleibenden demineralisierten Schmelzoberfläche (Lussi et al. 2011). Diese verbleibende Schmelzschicht ist sehr fragil. Zähnebürsten, kurz nach einem Säureangriff, verstärkt daher den Substanzverlust (Wiegand et al. 2007).

Fluoridverbindungen sind schon seit langer Zeit für ihre Karies inhibitorische Fähigkeit bekannt (Brambilla 2001). Der präventive Effekt gegenüber Erosionen durch

unterschiedliche Fluoridverbindungen wie Natriumfluorid, Aminfluorid, Zinnfluorid, Titanetrafluorid wurden in verschiedenen In-vitro- und In-vivo-Studien belegt (Schlueter et al. 2011, Rakhmatullina et al. 2010, Wiegand et al. 2009, Hove et al. 2006). Auch Metallverbindungen wie Zinnchlorid oder Ceriumchlorid zeigten protektive Eigenschaften gegenüber Säureangriffen (Wegehaupt et al. 2010, Ganss et al. 2008). Studien zeigten, dass ihre Anwendung die Säureresistenz der Zähne erhöht. Diese Erhöhung der Säureresistenz wird auf eine globuläre Schichtbildung der applizierten Substanz zurückgeführt. Zusätzlich fördern diese Substanzen die Remineralisation der Zahnhartsubstanz, die danach zusätzlich säureresistenter ist (Young et al. 2006, Lussi et al. 2005, Petzold 2001).

Bereits einige Studien belegten die Wirksamkeit von Zinnchlorid-haltigen Mundspüllösungen (Lussi et al 2012, Ganss et al. 2010, Schlueter et al. 2010, Wiegand et al. 2009). Oft verwendeten die vorhandenen Studien jedoch einen sehr niedrigen pH-Wert, der im klinischen Alltag nicht in jedem Fall realistisch ist (Ganss et al. 2010, Schlueter et al. 2010).

Daher war es das Ziel der vorliegenden Studie, das anti-erosive Potential von Zinnchlorid-haltigen und Fluorid-haltigen Mundspüllösungen bei verschiedenen realistischen pH-Werten zu untersuchen und ihre Wirksamkeit miteinander zu vergleichen. Zusätzlich sollte eine mögliche pH-Wert abhängige Wirksamkeit einer Zinnchlorid-haltigen Mundspülung (Elmex Erosionsschutz) untersucht werden.

3 Literaturübersicht

3.1 Anatomie & Histologie des Schmelzes

Der von Ameloblasten gebildete Zahnschmelz entsteht durch Kristallbildung in einer Schmelzmatrix aus Kalzium-Phosphat-Verbindungen. Nach der Bildung enthält Schmelz keine Zellen mehr und kann sich nicht selbst reparieren. 93-98 Gew.-% des Schmelzes bestehen aus anorganischem Material, 1.5-4 Gew.-% aus Wasser und der restliche Anteil aus organischen Substanzen wie Lipiden und Proteinen. Die Zusammensetzung des Schmelzes hängt von verschiedenen Faktoren wie Alter, Ernährung, Stelle des Schmelzes am Zahn (Schmelz-Dentin-Grenze zur Oberfläche), Umwelt etc. ab. Die wichtigsten chemischen Bestandteile des anorganischen Anteils sind Kalzium und Phosphat in Hydroxy-, Fluoro- oder Carbonat-Apatitform (Gwinnett 1992).

Schmelz ist mit einer mittleren Härte von 250 KHN (Knoop-Hardness-Number) an der Schmelz-Dentin-Grenze bis zu 390 KHN an der Schmelzoberfläche die härteste Substanz des menschlichen Körpers (Gwinnett 1992).

Die histologische Struktur von Schmelz ist sehr charakteristisch. So liegt die Kalzium-Phosphat-Verbindung in einem Verhältnis von 1:1.2 vor, aus welcher sich Apatit ($\text{Ca}_{10-x}\text{PO}_{6-x} \times \text{X}_2 \times \text{H}_2\text{O}$)-Kristalle bilden. Diese Kristalle stellen sich als längliche Stäbchen mit hexagonalem Querschnitt dar (160 nm lang, 40-70 nm breit und 26 nm dick). Jeder Kristallkern ist von adsorbierten Ionen umgeben, die wiederum von Wasser ummantelt sind (Nikiforuk 1985). Ein Bündel aus Kristallen bildet ein Schmelzprisma, das sich von der Schmelz-Dentin-Grenze wellenförmig sowohl in horizontaler als auch vertikaler Richtung zur Zahnoberfläche zieht (Gwinnett et al. 1992).

In den äusseren 15 – 20 µm unter der Schmelzoberfläche liegen die Apatit-Kristalle

parallel zur Oberfläche als sogenannter prismenfreier Schmelz vor (Gwinnett 1967).

3.2 Zahnabnutzung

„Tooth wear“ beschreibt diejenige Zahnabnutzung, die nicht durch Bakterien verursacht wird. „Tooth wear“ fasst Begriffe wie Erosion, Abrasion, Attrition, Abfraktion, Demastikation und Resorption zusammen. Die Grenze zwischen physiologischem und pathologischem Zahnabtrag ist bis heute in der Literatur nicht genau definiert, klar ist jedoch, dass dieser Prozess multifaktorieller Natur ist (Imfeld 1996).

Dentale Erosion beschreibt den pathologischen, nicht schmerzhaften und lokalisierten oberflächlichen Zahnhartsubstanzverlust durch schichtweise Abätzung der Zahnhartsubstanz. Dieser chemische Prozess wird durch Säuren und / oder Chelatoren verursacht (Zipkin und McClure 1949). Die verantwortliche Säure stammt nicht von Bakterien, sondern hat einen extrinsischen, intrinsischen oder idiopathischen Ursprung (Imfeld 1996).

Der Begriff Abrasion definiert einen pathologischen, nicht schmerzhaften und schichtweisen Abtrag von Zahnhartsubstanz durch einen Fremdkörper. Nach einem Säureangriff ist die Zahnhartsubstanz hypomineralisiert und oberflächlich leicht erweicht, obwohl dies klinisch nicht feststellbar ist (Eisenburger et al. 2004, Dawis und Winter 1980).

Dies führt dazu, dass die Zahnhartsubstanz anfälliger für abrasive Angriffe ist. Zahnhartsubstanzverlust wird daher bei einer Kombination von Erosion und Abrasion verstärkt (Wiegand et al. 2007, Smith 1975).

3.3 Ätiologie & klinisches Erscheinungsbild von Erosionen

Lussi et al. (2005) beschrieben eine Einteilung der ätiologischen Faktoren für Erosionen. Diese Faktoren können unterteilt werden in allgemeine Faktoren,

patientenspezifische und ernährungsspezifische Faktoren. Als allgemeine Faktoren werden Gesundheit, Verhalten, Kenntnisse, Beschäftigung etc. beschrieben.

Ernährungsspezifische Faktoren zeigen erosive Potentiale von Nahrungsmitteln auf. Die Erosivität eines Nahrungsmittels oder eines Getränkes ist nicht nur abhängig von deren Konsumhäufigkeit und dem pH-Wert der enthaltenen Säure, sondern auch von der Pufferkapazität (Stabilität des pH-Wertes einer Säure bei Zugabe einer Base (Shellis et al. 2014)), von der Fluorid-, Kalzium- und Phosphatkonzentration, der Adhäsionsfähigkeit an der Zahnoberfläche, den Chelatoreigenschaften des Nahrungsmittels (Lussi et al. 2005) sowie der Viskosität (Aykut-Yetkiner et al. 2014).

Lösungen, die an Kalzium und Phosphat übersättigt sind, können trotz niedrigem pH-Wert durchaus eine nur geringe oder gar keine erosive Wirkung aufweisen, wie zum Beispiel bei Joghurt (Lussi et al. 2005).

Je höher die Pufferkapazität eines erosiven Produktes ist, desto länger dauert es, bis die Säure vom Speichel neutralisiert werden kann. Daher spielt der pH-Wert einer Säure weniger eine Rolle als die Pufferkapazität. Diese Eigenschaft kann durch den Austausch von Nahrungsmittelsäuren innerhalb von Produkten verändert werden (Lussi et al. 2005).

Der dritte Ursachenkomplex definiert Patientenrisikofaktoren. Diese beinhalten Ess- , Trinkgewohnheiten, Mundhygieneverhalten, Zahnhartsubstanzzusammensetzung, Speichel, Pellikelbildung, Magendarmtraktstörungen, parafunktionelle Kontakte, Medikamentenkonsum und berufsbedingte Säureeinwirkung. Die Speichelfliessrate, Speichelpufferkapazität und der Speichel-pH spielen als biologische Faktoren eine essentielle Rolle. Eine Reduktion der Speichelfliessrate erhöht das Erosionsrisiko einerseits durch die verminderte „clearance rate“ (Elimination aus der Mundhöhle pro Zeiteinheit in Minuten), andererseits aber auch durch das verminderte Bereitstellen von einer an Kalzium und Phosphat übersättigten Umgebung. Auch die Pellikelbildung, die

einen protektiven Effekt hat, wird hierdurch beeinflusst (Zero und Lussi 2000).

Das klinische Erscheinungsbild von erosivem Zahnhartsubstanzverlust unterscheidet sich nach extrinsischem beziehungsweise intrinsischem Säureangriff. Die extrinsische Säurezufuhr führt im Anfangsstadium zu matten, leicht eingedellten bis defekten labialen Zahnoberflächen an Oberkieferfrontzähnen. Der cervikale Rand der Zahnkrone bleibt dagegen unberührt, da das Sulkusfluid sowie Plaqueformationen eine Diffusionsbarriere bilden (Stephen et al. 1980, Schweizer-Hirt 1978). Zu den Ursachen von extrinsischen Erosionen gehören säurehaltige Lebensmittel, kohlenhydrathaltige Getränke, Zitrusfrüchte etc. (Zero und Lussi 2005).

Okklusale Erosionen zeigen sich durch abgerundete Höcker bis hin zu eingedellten Schmelzdefekten mit freiliegendem Dentin. Dabei werden oft überstehende Füllungen beobachtet. Okklusale Erosionen können bei extrinsischen sowie intrinsischen Säureangriffen vorliegen. Ein intrinsischer Säureangriff wird durch den sauren Mageninhalt erzeugt. Ursachen dafür liegen bei Reflux-Erkrankungen, Essstörungen, Schwangerschaft und Alkoholismus (Lussi et al. 2005). Intrinsische Erosionen zeigen dagegen Schmelz-/ Dentin-Defekte vorwiegend auf den palatinal Flächen der Oberkieferzähne. Wird keine Ursache für die erosiv veränderten Schmelzflächen gefunden, wird von einem idiopathischen Säureangriff gesprochen (Lussi et al. 2005).

Unabhängig von der Lokalisation führen Erosionen zu einer Verringerung der Schmelzdicke und somit zur Farbveränderung der Zähne von weiss zu gelb (Bartlett 2005).

Bartlett et al. (2008) beschrieben ein einfaches internationales Klassifizierungssystem für Forscher sowie praktizierende Zahnärzte, um den Schweregrad von Erosionen zu definieren (BEWE-Index). In jedem Sextant wird die meist befallene Zahnfläche mit einem vier gradigen System bestimmt. Die Summe aller Werte der Sextanten zeigt das

Risiko des Patienten auf, von dem zudem klinische Handlungsempfehlungen gezogen werden können.

3.4 Pathomechanismus von Erosionen im Schmelz

Obwohl bei Karies, wie auch bei Erosionen, Säure zur Auflösung der Zahnhartsubstanz führt, unterscheidet sich der Pathomechanismus grundlegend. Wie bei kariösen Demineralisationen gibt es bei einem erosiven Angriff einen kritischen pH-Wert, der unterschritten werden muss. Jedoch liegt dieser Wert nicht bei pH 5.5 (Kalzium und Phosphat Konzentration in der Plaque), sondern errechnet sich zusätzlich aus der Kalzium- und Phosphat-Konzentration der erosiven Lösung. Der kritische pH-Wert variiert deshalb je nach Zusammensetzung der Säurelösung (Lussi und Carvalho 2014).

Ein Säureangriff führt am Anfang zu einer Erweichung der Oberfläche ohne Materialverlust. Hält die Erosion an, führt dies zum totalen Verlust der erweichten Oberfläche. Dieser Prozess wiederholt sich bei jedem Säureangriff (Lussi et al. 2011).

Der Pathomechanismus von Erosionen ist komplexer als früher angenommen wurde. Gelangt Säure in den Mund, muss diese zuerst den dünnen azellulären Biofilm, das Pellikel, durchdringen, um an die Schmelzoberfläche zu gelangen. An der Schmelzoberfläche angelangt, beginnen Wasserstoff-Ionen (H^+ -Ionen) die Schmelzkristalle von der Schale zum Zentrum hin aufzulösen. Ein typisches Honigwabemuster entsteht (Lussi et al. 2011).

Die Geschwindigkeit der Erosion ist abhängig von der Kristallzusammensetzung. Je mehr Verunreinigungen (Natrium, Magnesium, Chlorid) in den Kalzium defizitären Karbonat-haltigen Hydroxyapatit-Verbindungen vorhanden sind, desto höher ist die Löslichkeit der Kristalle. Auch die Stärke der Säure spielt eine essentielle Rolle. Diese

wird definiert als der negative Logarithmus des Dissoziationsgradienten (K_s). Je kleiner der pK_s -Wert ist, desto stärker ist eine Säure (Shellis et al. 2014).

Zu den dissoziierten Wasserstoff-Ionen kommen die undissoziierten Säuren. Durch ihre fehlende Ladung penetrieren diese einige Mikrometer weit in den Schmelz hinein und dissoziieren erst innerhalb des Schmelzes. Dieses Phänomen führt zur teildemineralisierten, leicht erweichten Schmelzoberfläche. Der Kristallverlust nimmt von der Schmelzoberfläche nach innen hin ab. Die daraus entstehenden, sehr dünnen und vulnerablen Kristalle sind besonders empfindlich gegenüber mechanischen Kräften (Eisenburger et al. 2004).

Die herausgelösten Minerale diffundieren an die Zahnoberfläche und erhöhen dort lokal den pH-Wert („Nernst layer“). Wird diese semistatische Lösung kontinuierlich weggespült, verstärkt sich der Auflösungsprozess (Shellis et al. 2005). Erst wenn ein statisches Gleichgewicht zwischen den Ionen vorhanden ist, wird der Erosionsprozess beendet (Shellis et al. 2014).

3.5 Prophylaxe- & Therapiemöglichkeiten von Erosionen

Klinische Beobachtungen von erodierten Zahnoberflächen fordern eine Abklärung bezüglich ihrer Ätiologie. Ein ausführliches Anamnesegespräch mit einem 5 Tages- (inklusive Wochenende) Ernährungsfragebogen liefern oftmals hilfreiche Informationen (Lussi et al. 2005).

Patienten, die intraorale Erosionen aufweisen oder unter einem grossen Risiko stehen, werden instruiert, säurehaltige Nahrungsmittel rasch zu konsumieren und ihren Konsum zu reduzieren. Zudem ist das Zähneputzen kurz vor oder nach dem Säureangriff nicht zu empfehlen (Lussi et al. 2005). Vor dem Erosionsangriff wird das schützende Pellikel durch abrasive Kräfte entfernt (Hanning und Bössmann 1988). Nach der Erosion wird

die demineralisierte Oberfläche durch das Zähneputzen weiter beschädigt (Wiegand et al. 2008). Lediglich ein Auswaschen des Mundes mit Wasser wird empfohlen. Attin et al. (2001) empfehlen mindestens 60 min nach einem Säureangriff mit der Zahnreinigung zu warten. Um die Schmelzoberfläche zu stärken, wird die regelmässige Anwendung von leicht sauren, fluoridhaltigen Gels empfohlen. Weiter sollen eine weiche Zahnbürste mit einer wenig abrasiven Zahnpasta in Kombination mit einer schonenden Bürsttechnik instruiert werden. Ist die Ursache ein endogener Faktor (z.B. Reflux oder Anorexie-Bulimie-Patienten), folgt eine Überweisung an ein spezifisch medizinisches Fachgebiet (Lussi et al. 2005).

Sind erosive Läsionen so weit fortgeschritten, dass eine präventive Therapie nicht ausreichend ist, so erfolgt ein therapeutisches Vorgehen. Die heutige Adhäsivtechnik ermöglicht es, erosive Läsionen defektbezogen zu behandeln. Fehlen nur wenige Millimeter (< 0.5 mm), reicht ein Abdecken der dünnen okklusalen Schmelzschicht mit Komposit aus. Ein grösserer Defekt führt entweder zur Bissenkung oder einem okklusalen Drift der Zähne. Die Grenze zwischen einer direkten Restauration, mittels Komposit, und einer indirekten Restauration, mittels Keramik, liegt bei ca. 2 mm Zahnhartsubstanzverlust. Sind dagegen nur einzelne Zahngruppen betroffen, sind kieferorthopädische Apparaturen sinnvoll (Lussi et al. 2005).

3.6 Wirkungsmechanismus von Fluorid bei Erosionen

Die Wirkung von Fluoriden gegenüber Erosionen wird in der Literatur kontrovers diskutiert (Wiegand et al. 2009, Ganss et al. 2008, Hove et al. 2006). Bewiesen ist jedoch, dass die Anwendung von Natriumfluorid- und oder Aminfluorid-Präparaten zu globulären Kalzium-Fluorid Präzipitaten auf der Zahnoberfläche führt. Diese bilden eine Schutzschicht vor Säureangriffen, da sie Protonen abfangen, bevor diese die Schmelzoberfläche erreichen (Petzold 2001). Die Bildung der Präzipitate ist abhängig

von der Konzentration und der Applikationshäufigkeit (Øgaard 2001). Es wird angenommen, dass Aminfluorid eine bessere Wirkung als Natriumfluorid hat, da die Bildung der globulären Präzipitate bei saurem pH verstärkt ist (Wiegand et al. 2009). Da diese mechanische Schutzschicht nicht sehr resistent bezüglich Abrasionen ist (Wegehaupt et al. 2009), ist eine häufige Applikation notwendig, um einen wirksamen Effekt zu erzielen (Schlueter et al. 2009).

Ein weiterer positiver Aspekt der regelmässigen Fluoridanwendung zeigt sich in der Bildung von Fluorapatit an der Schmelzoberfläche. Während der täglichen De-/ Remineralisationsphasen bildet sich bei häufiger Anwendung von fluoridhaltigen Mundhygienemitteln vermehrt Fluorapatit an Stelle von Hydroxy-Apatit an der Schmelzoberfläche. Dies geschieht aufgrund des unterschiedlichen Löslichkeitsisotherm von Hydroxy-Apatit und Fluorapatit (Lussi et al. 2005). Der Ersatz von Hydroxylionen an der Kristalloberfläche durch Fluoridionen führt zur Bildung von Fluorapatit. Diese Verbindung stabilisiert Kalzium-Ionen und führt zusätzlich zum Herabsenken des Löslichkeitsgradienten. Hierbei spielt es keine Rolle, wie weit Fluorid in den Schmelz diffundiert, denn auch nur der Austausch der Ionen an der Oberfläche führt zu einem Schutz vor Erosionen (Shellis et al. 2014).

Viele Nahrungsmittel und Getränke haben jedoch einen tiefen pH-Wert, der auch zur Untersättigung an Fluorapatit führt. Der Schutzmechanismus von Fluorapatit ist deshalb für die Erosionsprophylaxe von geringerer Bedeutung als für die Kariesprävention (Lussi et al. 2005).

3.7 Wirkungsmechanismus von polyvalenten Metallionen bei Erosionen

Fluoridverbindungen mit polyvalenten Metallionen (SnCl_2) sind schon seit einiger Zeit für ihre Karies-inhibitorische Wirkung bekannt. Die Anwendung zur Erosionsprophylaxe findet jedoch erst seit einigen Jahren statt (Wiegand und Attin 2010). Verschiedene

Studien belegen die Wirksamkeit von polyvalenten Metallionen in Kombination mit Fluoriden (Schlueter et al. 2010, Ganss et al. 2008). Die Wirkung wird von Young et al. (2006) als eine säurestabile Ablagerung und Präzipitation der Zinnionen an der Schmelzoberfläche beschrieben. Diese sehr säurestabile Zinnionenschicht fördert zudem die An- und Einlagerung von CaF_2 Präzipitaten.

Chemische Reaktionsprodukte als Folge einer Zinnfluorid-Applikation sind CaF_2 sowie Sn_2OHPO_4 , $\text{Sn}_3\text{F}_3\text{PO}_4$ oder $\text{Ca}(\text{SnF}_3)$. Diese Produkte wurden anhand Röntgenanalysemethoden beschrieben (Barbakow et al. 1987).

Ganss et al. (2008) schreiben den Haupteffekt des Erosionsschutzes den Zinn-haltigen Salzen zu. Ihre Studie untersuchte unter anderem den Effekt von Zinnchlorid ohne fluoridhaltigen Zusatz. Der Mineralverlust wurde alleine durch Zinnchlorid um 65% reduziert. Die Kombination von Zinn und Fluorid bewirkte im Vergleich jedoch einen 100% Schutz (Ganss et al. 2008).

Durch eine Steigerung des Anteils an Zinn im Vergleich zu Fluorid in Mundhygienemitteln kann der Säureinhibitionsschutz weiter verstärkt werden. Das optimale Verhältnis dieser beiden Elemente liegt bei einem Wert gleich oder höher 1.8 (Schlueter et al. 2009).

Neben Zinn-Ionen könnte auch Titantetrafluorid eine Rolle in der Erosionsprophylaxe spielen. Hove et al. (2006) zeigten sogar bessere Schutzeigenschaften gegenüber Säureangriffen als bei einer Zinnfluorid-Anwendung. Topographische Bilder stellen Titantetrafluorid als eine glasurartige Schicht dar (Hove et al. 2006).

In-vitro- wie auch In-vivo-Studien, welche die Wirksamkeit von polyvalenten Metallen in Bezug auf Säureangriffe untersucht haben, verwendeten vorwiegend Säuren mit sehr tiefen pH-Werten (z. B. 2.3) (Ganss et al. 2010, Schlueter et al. 2010). Lussi et al. (2012) zeigten in ihrer Studie jedoch, dass Nahrungsmittelsäuren meist

höhere pH-Werte besitzen. Die tiefsten pH-Werte von leicht unter 2.7 zeigten Coca-Cola (2.45), Fanta (2.67) und Sprite (2.54). Fruchtsäfte, Sportgetränke, Joghurt, alkoholische Getränke etc. wiesen jedoch immer pH-Werte höher als 3.0 auf.

3.8 Ziel der Studie

Ziel der vorliegenden Studie war es daher zu untersuchen, ob der pH-Wert der simulierten erosiven Attacken einen Einfluss auf das anti-erosive Potential einer Zinnchlorid-haltigen Mundspülung (Elmex Erosionsschutz) hat. Zusätzlich sollte der Schutz mit dem einer reinen Fluorid-Mundspüllösung verglichen werden. Die Hypothese der vorliegenden Studie lautete, dass das anti-erosive Potential von Elmex Erosionsschutz mit niedrigerem pH-Wert zunimmt.

4 Versuchsplanung

4.1 Messung der Schmelzerosion mittels Profilometrie

Sechsenddreissig bovine Unterkieferfrontzähne wurden in drei Hauptgruppen (1-3) (je $n = 12$ Zähne) unterteilt. Innerhalb dieser Hauptgruppen wurden wiederum drei Untergruppen (drei Schmelzproben (A-C) pro Zahn) gebildet.

Jede Gruppe wurde 1 d lang konditioniert. Es fand ein Säureangriff während 9×2 min innerhalb von 12 h statt. In der Zwischenzeit wurden die Proben in künstlichem Speichel gelagert. Es folgte eine Basismessung der Schmelzoberflächen mit einem Kontaktprofilometer. Diese Messung beinhaltete je fünf Profile pro Probe.

Darauffolgend startete für jede Untergruppe ein 10 d De-/ Remineralisationszyklus mit Bürsten. Jeweils 1 h vor und 1 h nach den Säureangriffen wurden die Proben mit für 20 s gebürstet und anschliessend 1 min in die gruppenspezifische Testlösung eingelegt.

In der Hauptgruppe 1 wurde der erosive Angriff mit HCl pH 2.7 durchgeführt. In der Hauptgruppe 2 mit pH 3.0 und in der Hauptgruppe 3 mit pH 4.0. In der Untergruppe A wurde nichts appliziert. In der Untergruppe B wurde Elmex Erosionsschutz und in der Untergruppe C wurde eine Fluorid-Mundspüllösung appliziert.

Der Schmelzabtrag wurde nach 10 d mit dem Kontaktprofilometer gemessen.

4.2 Versuchsablauf

36 bovine Unterkieferfrontzähne

| Zähne 1-12 | | | Zähne 13-24 | | | Zähne 25-36 | | |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------|
| drei Schmelzproben (A-C) pro Zahn | | | drei Schmelzproben (A-C) pro Zahn | | | drei Schmelzproben (A-C) pro Zahn | | |
| Gruppe 1 | Gruppe 2 | Gruppe 3 | Gruppe 4 | Gruppe 5 | Gruppe 6 | Gruppe 7 | Gruppe 8 | Gruppe 9 |
| (Proben A) | (Proben B) | (Proben C) | (Proben A) | (Proben B) | (Proben C) | (Proben A) | (Proben B) | (Proben C) |
| (n=12) | (n=12) | (n=12) | (n=12) | (n=12) | (n=12) | (n=12) | (n=12) | (n=12) |

1 Tag De-/ Remineralisationszyklus

- Erosion mit Salzsäure 9 x 2 min, verteilt über 12 h
- in der Zwischenzeit und über Nacht Lagerung in künstlichem Speichel

| | | |
|--------|--------|--------|
| pH 2.7 | pH 3.0 | pH 4.0 |
|--------|--------|--------|

Aufzeichnen der Sollprofile

10 Tage De-/ Remineralisationszyklus mit Bürsten

- Erosion mit Salzsäure 9 x 2 min, verteilt über 12 h

| | | |
|--------|--------|--------|
| pH 2.7 | pH 3.0 | pH 4.0 |
|--------|--------|--------|

- in der Zwischenzeit und über Nacht Lagerung in künstlichem Speichel
- Bürsten für 20 s ($F = 2.5 \text{ N}$), je 1 h vor der ersten und 1 h nach der letzten Erosion
- nach dem Bürsten Proben für 1 min in den folgenden Lösungen einlegen

| | | | | | | | | |
|-------------------|----------------------|-----------|-------------------|----------------------|-----------|-------------------|----------------------|-----------|
| Keine Flüssigkeit | Elmex Erosionsschutz | F-Spülung | Keine Flüssigkeit | Elmex Erosionsschutz | F-Spülung | Keine Flüssigkeit | Elmex Erosionsschutz | F-Spülung |
|-------------------|----------------------|-----------|-------------------|----------------------|-----------|-------------------|----------------------|-----------|

Erneutes Aufzeichnen der Profile

5 Material und Methoden

5.1 Probenherstellung

Die Schmelzproben stammten von Rinderzähnen. Bis zur Verwendung der Zähne wurden diese in einer 0.1% Thymol-Lösung gelagert. Nach dem manuellen Entfernen des Gewebes aus dem Wurzelkanal mit einem Wurzelkanalinstrument wurden die Rinderzähne an der Schmelz-Zementgrenze mit einer diamantierten Trennscheibe getrennt (Buehler LTD., Evanston, Illinois U.S.A.). Aus der Schmelzoberfläche der bovinen Unterkieferfrontzähne wurden je drei Proben mit einem Durchmesser von 4 mm und einer Höhe von ca. 4-5 mm mit einem diamantierten Hohlbohrer (Proxxon Brütsch/ Rüegger, Urdorf, Schweiz) herausgefräst. Insgesamt wurden für die Versuche 36 Zähne benötigt. Die Schmelzproben wurden in einem Dappenglas, gefüllt mit Wasser, für den jeweiligen Zahn gesammelt.

In einem weiteren Schritt wurden die Schmelzproben in Kunststoff eingebettet. In Kunststoff-Formen mit runden Aussparungen, die zusätzlich in der Mitte eine 1 mm tiefe und 4 mm im Durchmesser Aussparung besaßen, wurden die Schmelzproben zentriert hineingelegt. Als Einbettmaterial diente Kunststoff (Paladur von Heraeus Kulzer, Hanau, Deutschland), der in einem Mischverhältnis von 1:6 hergestellt wurde. Nach dem Einbetten wurden REM-Träger, die später als Halter dienten, in den noch flüssigen Kunststoff eingelassen. Diese REM-Träger wurden später auch für die korrekte Repositionierung im Profilometer genutzt. Sobald der Kunststoff leicht abgebunden hatte, wurden die Formen für 12 min bei 45 Grad Celsius in den Drucktopf gelegt.

Nach Entfernung der Proben aus den Formen folgte die Politur der Schmelzproben mit einer rotierenden Schleifscheibe und Schleifpapier (Struers, Tegamin-30, Brimensdorf, Schweiz). Es wurden drei Schleifpapiere unterschiedlicher Rauheit verwendet. Der

erste Schleifvorgang erfolgte mit einer Rauigkeit von 1200 grit (SiC-Folie, Struers, Brimensdorf, Schweiz) 30 s, der zweite mit einer Rauigkeit von 2000 grit (SiC-Folie, Struers, Brimensdorf, Schweiz) für 40 s und der dritte mit einer Rauigkeit von 4000 grit für 60 s (SiC-Papier, Buehler, Düsseldorf, Deutschland). Die Scheibendrehzahl betrug 150 U/min und es wurde ein konstanter Anpressdruck von 5 N angewendet. Ziel war es, die Schmelzproben auf das Niveau der Einbettmasse zu schleifen und auf Hochglanz zu polieren.

Als letzter Schritt erfolgte die Anbringung von Markierungen seitlich der Schmelzproben als Referenzlinien für die profilometrische Messung. Diese wurden mit einer Hartmetallspitze in den Kunststoff gekratzt. Der Abstand zwischen den beiden Kratzern betrug 5 mm, wobei diese Distanz zur Schmelzprobenmitte definiert wurde.

Um Referenzflächen im Schmelz zu haben, wurden vor jedem Säureangriff seitliche Bereiche des Schmelzes mit Nagellack abgedeckt.

5.2 Herstellung der Lösungen

5.2.1 Herstellung von künstlichem Speichel

Pro Tag wurden ca. 3 Liter Speichel für die Remineralisations-Phasen benötigt. Die Herstellung erfolgte nach dem Rezept für die Speichelherstellung nach Klimek (Klimek et al. 1982), allerdings ohne Muzin (s. Tab. 1) . Der pH-Sollwert lag bei 6.5. Um diesen Sollwert zu erreichen, wurde der pH-Wert mit einem pH-Messgerät (pH 827 lab, Metrohm, Herisau, Schweiz) bestimmt und mit 2 M HCl und oder 2 M NaOH bis zum gewünschten pH-Wert titriert.

| | MG | Mmol/l | | 2 Liter | 4 Liter |
|---------------------------------------|-------|--------|---|---------|---------|
| Ascorbinsäure | | | g | 0.004 | 0.008 |
| Glukose | 198 | 0.202 | g | 0.080 | 0.160 |
| NaCL | 58.4 | 9.932 | g | 1.160 | 3.320 |
| CaCl ₂ * 2H ₂ O | 147.0 | 1.531 | g | 0.450 | 0.900 |
| NH ₄ CL | 53.4 | 2.996 | g | 0.320 | 0.640 |
| KCL | 74.6 | 17.024 | g | 2.540 | 5.080 |
| NaSCN | 81.1 | 1.973 | g | 0.320 | 0.640 |
| KH ₂ PO ₄ | 136.0 | 2.426 | g | 0.660 | 1.320 |
| Harnstoff | 60.1 | 3.328 | g | 0.400 | 0.800 |
| Na ₂ HPO ₄ | 142.0 | 2.394 | g | 0.680 | 1.369 |

Tabelle 1: Zusammensetzung des künstlichen Speichels nach Klimek (Klimek et al. 1982)

Die angegebenen Mengen wurden gewogen und mit destilliertem Wasser aufgelöst. Die Reihenfolge der aufgelisteten Produkte wurde zwingend eingehalten, um ein Ausfällen von Na₂HPO₄ zu verhindern (s. Tab. 1).

5.2.2 Herstellung der Säuren

Um die Schmelzproben zu erodieren, wurden täglich ca. 600 ml Säure aus 0.1 M HCl und destilliertem Wasser hergestellt. Der hergestellte pH-Wert wurde mit dem pH-Messgerät (pH 827 lab, Metrohm, Herisau, Schweiz) überprüft.

5.3 De-/ Remineralisationszyklen

Die 36 bovinen Unterkieferfrontzähne wurden in drei Hauptgruppen unterteilt. Diese drei Hauptgruppen wurden nach der Konditionierung während 10 d mit Salzsäure mit verschiedenen pH-Werten erodiert. Diese Hauptgruppen wurden wiederum unterteilt in drei Untergruppen, die jeweils 1 h vor und 1 h nach dem Erosionsangriff in probenspezifische Mundspüllösungen (Untergruppe A: keine Flüssigkeit,

Untergruppe B: Elmex Erosionsschutz, Untergruppe C: Fluorid-Mundspüllösung) für 1 min eingelegt wurden.

Vor dem Beginn des 10 d De-/ Remineralisationszyklus wurden die Proben mit einem gruppenspezifischen Salzsäureangriff (Hauptgruppe 1: pH 2.7, Hauptgruppe 2: pH 3.0, Hauptgruppe 3: pH 4.0) für 9 x 2 min über 12 h für 1 d konditioniert. In der Zwischenzeit und über Nacht wurden die Proben in künstlichem Speichel gelagert. Nach dieser Konditionierung erfolgte das Aufzeichnen der Sollprofile (Basismessung) mit einem Kontaktprofilometer.

Während des Zehn-Tage-Zyklus wurde jede Untergruppe (je 12 Schmelzproben) verteilt über 12 h, 9 x 2 min in den Kammern, welche die Proben beinhalteten, mit der probenspezifischen Salzsäure, erodiert. In der Zwischenzeit und in der Nacht (je 12 h) wurden die Proben in künstlichem Speichel gelagert.

Die Steuerung der Demineralisationszyklen während den ersten 12 h erfolgte durch eine Software. Für die zweiten 12 h in der Nacht wurden die Proben in künstlichem Speichel in einem Dappenglas gelagert.

Die Pumpleistung betrug bei der Salzsäure 100% (3.06 ml pro min) und beim Speichel direkt nach dem Säureangriff 10% (0.306 ml pro min) während 1 min und während darauffolgenden 1 h 8 min 15 s betrug sie 1% (0.0306 ml pro min).

Die Kammern befanden sich in einem Wasserbad, damit eine konstante Temperatur von 20 Grad Celsius vorhanden war.

5.4 Bürstabrasion

1 h vor dem ersten und 1 h nach dem letzten Säureangriff wurden die Proben mit einer elektrischen Zahnbürste (Waterpik Sensonic Professional Plus SR-3000, Biomed,

Dübendorf, Schweiz) für 20 s ($F = 2.5 \text{ N}$) von oberflächlichen Ablagerungen gereinigt und danach in die Untergruppen-spezifische Lösung für 1 min eingelegt.

Nach 10 d wurden erneut fünf Profile jeder Probe aufgezeichnet und mit den Basisprofilen verglichen.

5.5 Chemische Analyse der fluoridhaltigen Lösungen

5.5.1 Bestimmung der Fluoridkonzentration

Die Bestimmung der Fluoridkonzentration erfolgte mithilfe einer Ionen sensitiven Fluoridelektrode (Modell 96-09 Orion-Europe, Cambridge, GB) gemäss einer laborinternen Weiterentwicklung der Methodik von Bushee et al. (1971). Die Elektrode mass die Potentialdifferenz einer Testlösung zur Elektrode (Silber-/Silberchlorid-Elektrode). Das ORION-720-A Messgerät (Orion-Europe, Cambridge, GB) mit kombinierter Fluoridelektrode war auf mV eingestellt. Für die Erstellung einer Konzentrations-Eich-Kurve wurden vier Standardlösungen mit Konzentrationen von 0.01 Mol F/l, 0.001 Mol F/l, 0.0001 Mol F/l und 0.00001 Mol F/l verwendet. Um den gesamten Fluoridgehalt in ionisierter Form messbar zu machen, wurde eine modifizierte TISAB, pH 5.1 Lösung hergestellt. Diese Lösung beinhaltete 5 g Komplexon IV, welche das Zinn komplexierte. Es wurde keine Aufstocklösung verwendet, da diese Lösung Fluorid beinhaltete. Zur Messung der Proben wurden 1 ml Spüllösung und 1 ml modifizierte TISAB gemischt. Anschliessend wurde das Potential gemessen. Das Computerprogramm HyperCard (Apple, Cupertino CA, USA) rechnete die F-Konzentration von mV-Werten in ppm Fluorid um. Für jede Lösung erfolgte jeweils eine Doppelbestimmung der Fluoridkonzentration.

5.5.2 Bestimmung des pH-Wertes

Der pH-Wert der Testlösungen wurde mittels pH-Messgerät (pH 827 lab Metrohm AG, Herisau, Schweiz) nach standardisierter Laborpraxis durchgeführt (Ciba-Geigy AG 1984). Vor der Bestimmung des pH-Wertes erfolgte immer die Kalibrierung des Gerätes. Dabei wurde die gemessene Spannung in mV gegen den theoretischen pH-Wert zweier Pufferlösungen aufgetragen. Die resultierende Gerade besass einen Schnittpunkt bei 0 mV mit pH-Wert 7. Die Steilheit der Gerade war von der Temperatur abhängig und betrug bei 25 Grad Celsius eine theoretische Steigung von 59.16 mV pro pH-Einheit (Harris 2014).

Zwei unterschiedliche Fluorid Lösungen wurden verwendet.

Die Fluorid-Mundspüllösung (AmF/NaF) (GABA, Therwil, Schweiz) beinhaltete anhand der chemischen Analyse 520 ppm F bei einem pH-Wert von 5.04. Die Analyse von Elmex Erosionsschutz (SnCl₂/AmF/NaF) (GABA, Therwil, Schweiz) ergab eine Fluorid-Konzentration von 465 ppm bei einem vorherrschenden pH-Wert von 4.4. Die Zinnkonzentration betrug 800 ppm (GABA, Therwil, Schweiz).

5.6 Profilometrie

Um den Substanzabtrag des Säureangriffs darzustellen wurde die profilometrische Messmethode verwendet. Dabei wurde die Differenz zwischen einem Sollprofil (1 d Konditionierung) und einer Messung nach dem zehnten Tag berechnet. Die Messung erfolgte durch mechanische Abtastung mittels einer Diamantspitze.

Zur Profilometrie wurde das Gerät Perthometer S2 Vorschubgerät GD25 Tastarm

MFW 805 (Mahr, Göttingen, Deutschland) verwendet. Die Diamantspitze hatte einen Durchmesser von 2 μm und bewegte sich konstant mit 0.5 mm/s über die erodierte Schmelzfläche.

Mit der Diamantspitze wurde die vertikale Ausrichtung in einem Bereich von $\pm 250 \mu\text{m}$ den Nullpunkt gemessen, wobei eine Messgenauigkeit von 130 nm vorlag. Durch den vertikalen Höhenunterschied konnte das Computerprogramm den Säureangriff dargestellt als Kurve rekonstruieren. Es wurden jeweils fünf Profile aufgezeichnet. Der Abstand zwischen den einzelnen Profilen betrug 250 μm und jede Messstrecke betrug 7.5 mm.

Die Auswertung der Profile erfolgte mit einem laboreigenem Computerprogramm (Eigenfabrikat Universität Zürich, PPK, ZZM, Schweiz).

Stellen, die mit Nagellack abgedeckt waren, und die Kratzer im Kunststoff dienten als Referenzflächen, damit die Profile überlagert werden konnten. Innerhalb der Testbreite (1 mm lang) wurde die vertikale Differenz zwischen dem Basislinienprofil und dem entsprechenden Profil nach 10 d bestimmt. Dies ergab den Schmelzverlust durch den Säureangriff und die Bürstabrasion.

5.7 Statistik

Die Daten wurden in Excel kodiert und mit SPSS Version 22 analysiert. Die deskriptiven Statistiken (Mittelwert und Standardabweichung) wurden berechnet. Die Annahme der Normalverteilung in jeder Gruppe wurde mit dem Kolmogorov-Smirnov- und dem Shapiro-Wilk-Test überprüft. Die Unterschiede im Abtrag der Kontroll-, Fluorid-Mundspüllösungs- und Elmex Erosionsschutz-Mundspüllösungs-Gruppe sowie der prozentuale Abtrag im Vergleich zur Kontrolle für die Fluorid-Mundspüllösung und für die Elmex Erosionsschutz-Mundspüllösung für die verschiedenen pH-Werte wurden mit

einer einfachen Varianzanalyse (ANOVA) samt Bonferroni-post-hoc-Test verglichen. Ferner wurden die Unterschiede zwischen den Produkten, sowohl absolut als auch prozentual, mit dem gepaarten t-Test für jede pH-Wert Stufe separat analysiert. Die Ergebnisse der statistischen Analysen mit einem p-Wert kleiner als 5% wurden als statistisch signifikant interpretiert.

6 Resultate

6.1 Mittlerer Schmelzabtrag

In der nachfolgenden Abbildung 1 ist der Schmelzabtrag in Mikrometer, verursacht durch 9 x 2 min Säureangriffe unterschiedlicher pH-Werte (2.7, 3.0, 4.0) nach 10 d in den einzelnen Gruppen (Kontrolle (= Keine Flüssigkeit), Fluorid-Mundspüllösung, Elmex Erosionsschutz), dargestellt. In der Tabelle 2 sind die exakten Werte des Schmelzabtrages in Mikrometer und die dazugehörigen Standardabweichungen aufgeführt.

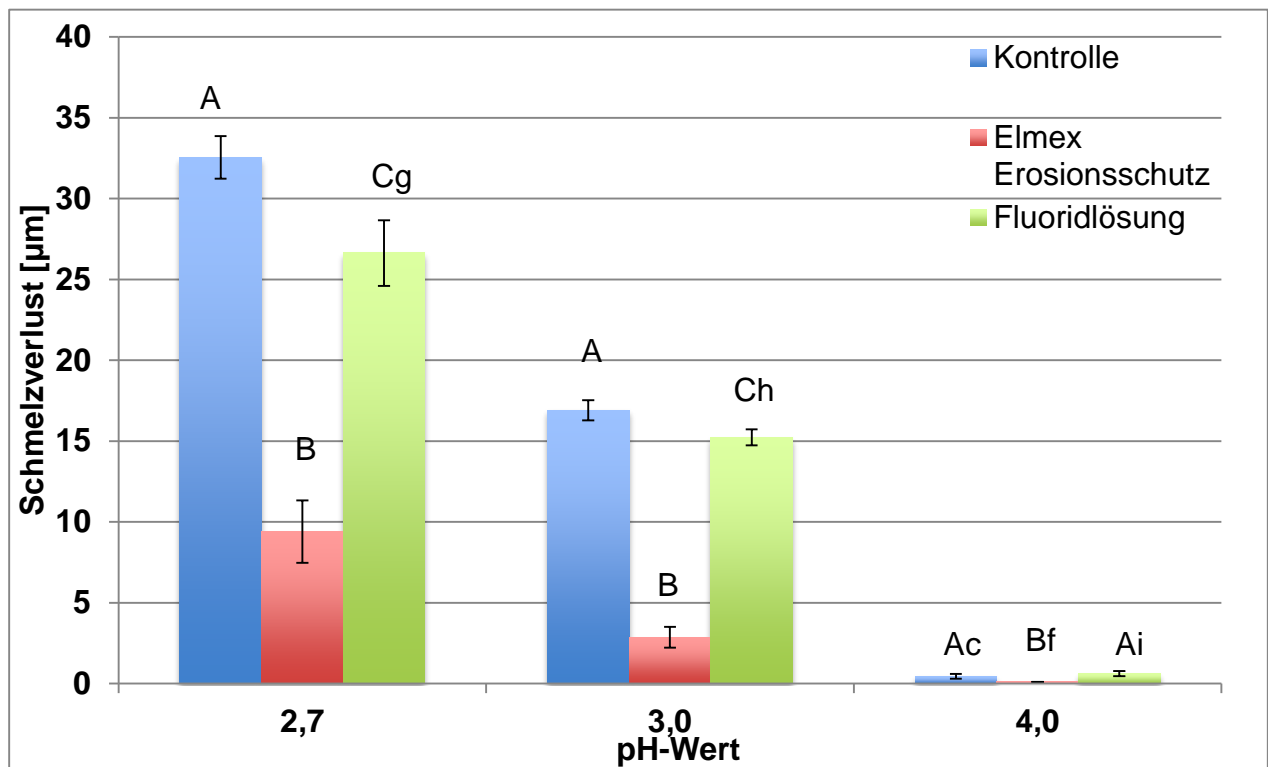


Abbildung 1: Mittlerer Schmelzabtrag und Standardabweichung für die drei Behandlungslösungen (Kontrolle = Keine Flüssigkeit, Elmex Erosionsschutz und Fluorid-Mundspüllösung) und die drei untersuchten pH-Werte (2.7, 3.0 und 4.0) der erosiven Attacken.

Werte innerhalb desselben pH-Wertes für die drei Lösungen, die sich nicht signifikant unterscheiden, sind mit gleichen Grossbuchstaben gekennzeichnet.

Werte innerhalb derselben Lösung für die drei pH-Werte, die sich nicht signifikant unterscheiden, sind mit gleichen Kleinbuchstaben gekennzeichnet.

| | pH 2.7 | pH 3.0 | pH 4.0 |
|------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Kontrolle | 32.55 ± 1.31 | 16.91 ± 0.63 | 0.46 ± 0.15 |
| Elmex Erosionsschutz | 9.40 ± 1.93 | 2.87 ± 0.65 | X |
| Fluorid- Mundspüllösung | 26.63 ± 2.03 | 15.24 ± 0.50 | 0.61 ± 0.16 |

Tabelle 2: Mittlerer Schmelzabtrag und Standardabweichung [μm] für die drei Behandlungslösungen (Kontrolle = Keine Flüssigkeit, Elmex Erosionsschutz und Fluorid-Mundspüllösung) und die drei untersuchten pH-Werte (2.7, 3.0, 4.0) der erosiven Attacken.

X: Wert liegt unterhalb der Messgrenze von $\pm 0.105 \mu\text{m}$

Der pH-Wert 2.7 repräsentierte den tiefsten pH-Wert. Der Abtrag in der Kontrollgruppe war bei diesem pH-Wert, im Vergleich zu den restlichen Gruppen (Fluorid-Mundspüllösung und Elmex Erosionsschutz Lösung), signifikant ($p = 0.00$) grösser. Bei diesem pH-Wert lieferte die Elmex Erosionsschutz Lösung den signifikant ($p = 0.00$) geringsten Schmelzverlust im Vergleich zur Fluorid-Mundspüllösung und der Kontrolle. Der Schmelzverlust lag bei der Fluorid-Mundspüllösung im mittleren Bereich.

Bei einem pH-Wert von 3.0 gab es durch die täglichen Säureangriffe bei der Kontrollgruppe den grössten Schmelzabtrag. Bei der Gruppe der Fluoridlösung war der mittlere Schmelzverlustwert signifikant ($p = 0.00$) unterschiedlich zur Kontrolle und der Elmex Erosionsschutz Lösung. Einen statistisch signifikanten Unterschied ($p = 0.00$) zu den beiden Vergleichsgruppen (Kontrolle und Fluorid-Mundspüllösung) zeigte sich auch bei der Elmex Erosionsschutz Lösung.

Auch bei pH-Wert 4.0 zeigten die Werte ähnliche Ergebnisse wie bei pH-Wert 3.0. Auffallend war jedoch, dass sich die Kontrolle sowie die Fluorid-Mundspüllösung im Schmelzabtrag nach 10 d nicht statistisch signifikant ($p = 0.075$) voneinander

unterschieden. Ein Schmelzabtrag konnte in der Gruppe Elmex Erosionsschutz Lösung (Wert unterhalb der Messgrenze von $\pm 0.105 \mu\text{m}$) nicht festgestellt werden und war somit signifikant ($p = 0.00$) geringer in den anderen beiden Gruppen.

Für alle Gruppen (Kontrolle, Elmex Erosionsschutz Lösung und Fluorid-Mundspüllösung) konnte eine signifikante Zunahme des Schmelzverlustes mit abnehmendem pH-Wert der erosiven Attacken festgestellt werden ($p = 0.00$).

6.2 Schmelzverlust in Prozent der Kontrolle

Abbildung 2 zeigt den Schmelzverlust in Prozent der Kontrolle. Die Tabelle 3 führt exakte mittlere Schmelzabtrags-Werte in Mikrometer und deren Standardabweichungen auf.

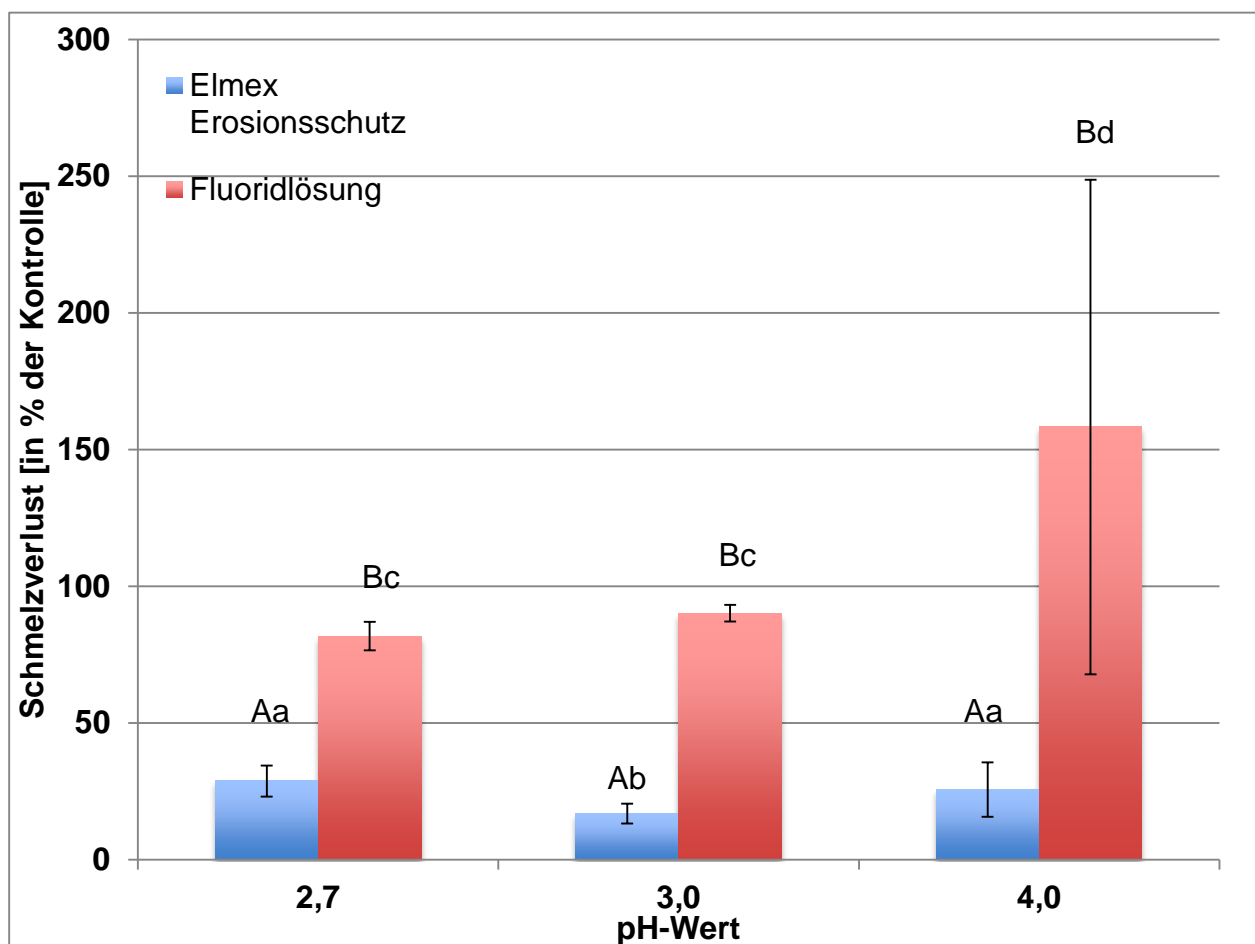


Abbildung 2: Mittlerer Schmelzabtrag und Standardabweichung in % der Kontrolle für die beiden Behandlungslösungen (Elmex Erosionsschutz und Fluorid-Mundspüllösung) und die drei untersuchten pH-Werte (2.7, 3.0 und 4.0) der erosiven Attacken. (Tiefere Prozentwerte bedeuten besseren Schutz im Vergleich zur Kontrolle).

Werte innerhalb desselben pH-Wertes für die verschiedenen Lösungen, die sich nicht signifikant unterscheiden, sind mit gleichen Grossbuchstaben gekennzeichnet.

Werte innerhalb derselben Lösung für die drei pH-Werte, die sich nicht signifikant unterscheiden, sind mit gleichen Kleinbuchstaben gekennzeichnet.

| | pH 2.7 | pH 3.0 | pH 4.0 |
|------------------------------------|---------------|---------------|----------------|
| Elmex Erosionsschutz | 28.84 ± 5.68 | 16.91 ± 3.67 | 25.70 ± 9.94 |
| Fluorid- Mundspüllösung | 81.79 ± 5.20 | 90.20 ± 3.03 | 158.25 ± 26.11 |

Tabelle 3: Mittlerer Schmelzabtrag und Standardabweichung [% der Kontrolle] für die beiden Behandlungslösungen (Elmex Erosionsschutz und Fluorid-Mundspüllösung) und die drei untersuchten pH-Werte (2.7, 3.0 und 4.0) der erosiven Attacken.

Der Schmelzverlust in Prozent der Kontrolle war bei Simulation einer Erosion mit HCl pH 2.7 bei der Fluorid-Mundspüllösung signifikant ($p = 0.00$) grösser als bei Elmex Erosionsschutz.

Bei einem pH-Wert von 3.0 zeigte sich ein ähnliches Bild wie bei einem pH-Wert von 2.7. Der Schmelzabtrag in Prozent der Kontrolle für Elmex Erosionsschutz Lösung war signifikant ($p = 0.00$) geringer als bei der Fluorid-Mundspüllösung.

Da die Werte für die Gruppe Elmex Erosionsschutz Lösung bei einem pH-Wert von 4.0 unterhalb der Messgrenze von $\pm 0.105 \mu\text{m}$ lagen, wurde für die statistischen Analysen ein konstanter Wert von $0.105 \mu\text{m}$ definiert. Folglich war auch der Schmelzabtrag in Prozent der Kontrolle bei der Fluorid-Mundspüllösung signifikant ($p = 0.00$) grösser.

Der Vergleich der Elmex Erosionsschutz Lösungen innerhalb der drei pH-Werte zeigte den statistisch signifikant ($p = 0.00$) geringsten Abtrag in Prozent der Kontrolle bei pH-Wert 3.0. Die Werte für pH-Wert 2.7 und pH-Wert 4.0 zeigten keinen signifikanten Unterschied ($p = 0.827$).

Die Fluorid-Mundspüllösungen unterschieden sich signifikant ($p = 0.00$) bei pH-Wert 2.7 zu pH-Wert 4.0 und pH-Wert 3.0 zu pH-Wert 4.0. Mit einem Signifikanzniveau von $p = 1.00$ unterschieden sich die Schmelzabtragwerte in Prozent der Kontrolle von pH-Wert 2.7 und pH-Wert 3.0 nicht signifikant voneinander.

7 Diskussion

Zur Durchführung dieser Studie wurden Rinderzähne verwendet. Aufgrund ihrer ähnlichen Eigenschaften wie humane Zähne werden Rinderzähne in viele Studien eingesetzt (Wiegand et al. 2008, Attin et al. 2007). Rinderzähne weisen im Vergleich zu humanen Zähnen analoge histochemische wie auch anatomische Strukturen auf (Esser et al. 1998, Oesterle et al. 1998, Meurman und Frank 1991). Weitere Vorteile für die Verwendung von Rinderzähnen zeigen sich in der grossen verfügbaren Menge und der grossen vorhandenen Schmelzmenge (Meurman und Frank 1991). Da Rinderzähne nicht durch äussere Faktoren beeinflusst wurden, ist eine Standardisierung einfach möglich.

Obwohl eine Ähnlichkeit zwischen humanem und bovinem Schmelz besteht, haben Attin et al. (2007) gezeigt, dass boviner Schmelz bei erosiven, wie auch bei abrasiv-erosiven Angriffen, weniger resistent ist. Weiter jedoch zeigten Meurman und Frank (1991), dass ein Säureangriff zu gleichen oberflächlichen histologischen Veränderungen führt wie bei humanen Zähnen. Sie wiesen auch nach, dass polierte Zahnoberflächen von Rinderzähnen anfälliger für Erosionen sind als unpolierte. Durch das Polieren der Oberfläche wird diejenige Zahnhartsubstanz entfernt, die gegenüber Säureangriffen resistenter ist als die tieferen Zahnhartsubstanzbereiche.

Trotz der geringen Unterschiede zu humanem Schmelz wurde in dieser Studie Rinderschmelz verwendet. In dieser In-vitro-Studie wurden nur Vergleiche zwischen den Proben aufgezeigt, weshalb es eine untergeordnete Rolle spielt, ob die Schmelzproben von Rinderzähnen oder humanen Zähnen stammen.

Für den Säureangriff wurde Salzsäure mit unterschiedlichen pH-Werten verwendet. Das Vorliegen der vollständigen Dissoziation der H^+ -Ionen in der Salzsäure ist gut geeignet für Laborversuche. Bei klinischen Studien repräsentiert eine vollständig dissoziierende

Säure jedoch nicht den Grossteil der vorhandenen Nahrungsmittelsäure, denn viele besitzen nicht nur verschiedene pH-Werte, sondern häufig auch unterschiedliche Pufferkapazitäten, Fluorid-, Kalzium- und Phosphatkonzentrationen, Chelatoreigenschaften und Adhäsionsfähigkeit an der Zahnoberfläche (Lussi et al. 2005).

Der tiefste pH-Wert von 2.7 wurde anhand der Studie von Lussi et al. (2012) gewählt. Diese Studie untersuchte den erosiven Effekt von säurehaltigen Getränken und Medikamenten. Da die meisten säurehaltigen Getränke einen pH-Wert höher als 2.7 aufzeigten (Sportgetränke, Fruchtsäfte, Joghurt, alkoholische Getränke, Softdrinks ausser Coca-Cola, Fanta, Sprite), stellte dieser pH-Wert einen guten Bezug zu realen Situationen dar.

Täglich wurden die Schmelzproben während 12 h 9 x 2 min mit Salzsäure umspült. Die Dauer deckt sich mit klinischen Studien, denn Meurman et al. (1987) zeigten auf, dass die orale Clearance nach ca. 2-3 min abgeschlossen ist. Weiter soll die Gesamtzeit des Säureangriffes von 18 min einen Hoch-Risikopatienten simulieren, der beispielsweise Vegetarier ist oder häufig säurehaltige Getränke trinkt (Lussi und Jaeggi 2008).

Um eine möglichst reale klinische Situation zu simulieren, wurden die Zähne zwischen den Säureangriffen mit künstlichem Speichel umspült und während weiteren 12 h in künstlichem Speichel gelagert. Speichel gilt als wichtigster biologischer Faktor in Bezug auf Erosionen. Er interagiert direkt mit der Säure, indem der Speichel diese neutralisiert, er spielt eine essentielle Rolle bei der Bildung des Pellikes, er reduziert die Demineralisationsrate und erhöht die Remineralisationsrate durch die Bereitstellung verschiedener Mineralien (Hara und Zero 2014).

In In-vitro-Versuchen ist die Wirksamkeit des künstlichen Speichels jedoch umstritten, da nicht exakt dieselben Bedingungen wie im Mund geschaffen werden können (Ganss et al. 2008).

Mithilfe der vorliegenden In-vitro-Studie wurde die Wirksamkeit bis mindestens pH-Wert 2.7 sowohl von einer Zinnchloridhaltigen (AmF/NaF/SnCl_2) als auch von einer fluoridhaltigen (AmF/NaF) Spüllösung bewiesen. Die Wirksamkeit dieser beiden Lösungen wurde schon in einigen anderen Studien belegt (Schlueter et al. 2011, Ganss et al. 2010, Wiegand et al. 2009).

Der Vergleich zu anderen Studien gestaltet sich oft als schwierig, da verschiedene Säuren, verschiedene De-/ Remineralisationszeiten etc. in den Versuchen verwendet wurden. Wie bereits erwähnt, sind In-vitro- und In-vivo-Studien auch nicht problemlos miteinander vergleichbar.

Die Tendenz aller Studien deutet jedoch in die gleiche Richtung. Wiegand et al. (2009) zeigten in ihrer In-vitro-Studie, dass bei einem pH-Wert von 2.6 nur Zinnfluorid-Lösungen (0.5% Sn_2 & 1% Sn_2 , pH 3.9) und säurehaltige Aminfluorid-Lösungen (1% Fluorid) statistisch signifikant wirksam sind. Nicht säurehaltige Aminfluorid-Lösungen und alle Natriumfluorid-Lösungen zeigten bei diesem pH-Wert keinen Schutz im Vergleich zur Kontrolle. Auch in der vorliegenden Studie zeigte AmF/NaF/SnCl_2 den signifikant ($p = 0.00$) grössten Erosionsschutz. Im Unterschied zur oben erwähnten Studie bot auch AmF/NaF einen effektiven Schutz im Vergleich zur Kontrolle.

In klinischen Studien von Ganss et al. (2010) und Schlueter et al. (2010) wurde gezeigt, dass bei einem pH-Wert 2.3 der protektive Effekt von 500 ppm Natriumfluorid geringer ist als von Zinnchlorid-haltigen Lösungen (Ganss et al. 2010). Beide Studien zeigten eine hohe Wirksamkeit von Zinnchlorid (500 ppm F^- , 800 ppm Sn^{2+}) mit einer

Schmelzabtrag-Reduktion zwischen 67% (Ganss et al. 2010) und 78% im Vergleich zur ungeschützten Kontrolle (Schlueter et al. 2010). Diese Tendenzen zeigten sich auch in der vorliegenden In-vitro-Studie (pH-Wert 2.7). Der Schmelzabtrag für AmF/NaF mit $81.79 \pm 5.20 \%$ war signifikant grösser ($p=0.00$) als für AmF/NaF/SnCl₂ ($28.84 \pm 5.68\%$).

Die Wirkungsweise von Zinnchlorid wird von Young et al. (2006) als eine säurestabile Ablagerung und Präzipitation der Zinnionen an der Schmelzoberfläche beschrieben. Diese Zinnionen fördern zudem die An- und Einlagerung von CaF₂-Präzipitaten an den Schmelz. Zudem bilden sich chemische Reaktionsprodukte als Folge einer Zinnfluorid-Applikation (CaF₂, Sn₂OHPO₄, Sn₃F₃PO₄ oder Ca(SnF₃). Die statistisch signifikante ($p = 0.00$) Abnahme des Schmelzverlustes in Prozent der Kontrolle bei AmF/NaF/SnCl₂ von pH-Wert 4.0 ($25.70 \pm 9.94\%$) zu pH-Wert 3.0

($16.91 \pm 3.67\%$) unterstützt zudem die Theorie von Young et al. (2006). Diese besagt, dass durch Anätzen der Schmelzoberfläche die Wirkkraft von Zinnchlorid-Lösungen zunimmt, da bereits Kalzium- und Phosphat-Kristalle zur Reaktion bereitgestellt sind. Beim pH-Wert 3.0 ($16.91 \pm 3.67\%$) und pH-Wert 2.7 ($28.84 \pm 5.68\%$) konnte dieser Effekt jedoch in der vorliegenden Studie nicht mehr bestätigt werden.

Aus diesem Grund kann davon ausgegangen werden, dass Elmex Erosionsschutz unter den vorliegenden Versuchsbedingungen sein Wirkungsmaximum bei Erosionen mit einem pH-Wert um den Wert 3.0 hat.

8 Schlussfolgerung

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Studie konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

1. Elmex Erosionsschutz hat einen protektiven Effekt gegenüber Säureangriffen mit pH-Werten zwischen 2.7 und 4.0.
2. Die Fluorid-Mundspüllösung zeigte dieselben Effekte, jedoch in einem signifikant geringeren Ausmass.
3. Der anti-erosive Effekt von Elmex Erosionsschutz ist nicht abhängig vom pH-Wert.

9 Literaturverzeichnis

Attin T, Knöfel S, Buchalla W, Tütüncü R:

In situ evaluation of different remineralization periods to decrease brushing abrasion of demineralized enamel.

Caries Res 35: 216-222 (2001)

Attin T, Wegehaupt F, Gries D, Wiegand A:

The potential of deciduous and permanent bovine enamel as substitute for deciduous and permanent human enamel: Erosion-abrasion experiments.

J Dent 35: 773-777 (2007)

Aykut-Yetkiner A, Wiegand A, Ronay V, Attin R, Becker K, Attin T:

In vitro evaluation of the erosive potential of viscosity-modified soft acidic drinks on enamel.

Clin Oral Invest 18:769-773 (2014)

Barbakow F, Sener B, Lutz F:

Dissolution of phosphorus from human enamel pretreated in vitro using SnF₂ stabilized with amine fluoride 297.

Clin Prev Dent 9: 3-6 (1987)

Bartlett DW:

The role of erosion in tooth wear : Aetiology, prevention and management.

Int Dent J 55: 277–284 (2005)

Bartlett D, Ganss C, Lussi A:

Basic Erosive Wear Examination (BEWE): A new scoring system for scientific and clinical needs.

Clin Oral Investig 12: 65-68 (2008)

Brambilla E:

Fluoride - is it capable of fighting old and new dental diseases? An overview of existing fluoride compounds and their clinical applications.

Caries Res 35: 6-9 (2001)

Bushee EJ, Grisson DK, Smith DR:

An analysis of various fluoride prophylaxis products for free fluoride ion concentrations.

ASDC J Dent Child 38: 279-281 (1971)

Ciba-Geigy AG:

Laborpraxis 2. Messmethoden.

2. Aufl. Birkhäuser, Basel (1984)

Davis WB, Winter PJ:

The effect of abrasion on enamel and dentine after exposure to dietary acid.

Br Dent J 148: 253-256 (1980)

Eisenburger M, Shellis PR, Addy M:

Scanning electron microscopy of softened enamel.

Caries Res 38: 67-74 (2004)

Esser M, Tinschert J, Marx R:

Materialkennwerte der Zahnhartsubstanz des Rindes im Vergleich zur humanen Zahnhartsubstanz.

Dtsch Zahnärztl Z 53: 713-717 (1998)

Ganss C, Neutard L, von Hinckeldey J, Klimek J, Schlueter N:

Efficacy of a tin/fluoride rinse: a randomized in situ trial on erosion.

J Dent Res 89: 1214-1218 (2010)

Ganss C, Schlueter N, Hardt M, Schattenberg P, Klimek J:

Effect of fluoride compounds on enamel erosion in vitro: a comparison of amine, sodium and stannous fluoride.

Caries Res 42: 2-7 (2008)

Gwinnett AJ:

The ultrastructure of the „prismless“ enamel of permanent human teeth.

Arch Oral Biol 12: 381-387 (1967)

Gwinnett AJ:

Structure and composition of enamel.

Oper Dent: 10-17 (1992)

Hanning M, Bössmann K:

Das Abriebverhalten des exogenen Zahnoberhäutchens bei der Zahnreinigung mit Zahnbürste und Zahnpaste.

Oralprohylaxe 10: 3-10 (1988)

Hara AT, Zero DT:

The potential of saliva in protecting against dental erosion.

Monogr Oral Sci 25: 197-205 (2014)

Harris DC:

Lehrbuch der quantitativen Analyse.

8. Aufl., Springer, Berlin (2014)

Hellwig E, Klimek J, Attin T:

Einführung in die Zahnerhaltung.

5. Aufl., Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln (2009)

Hove L, Holme B, Øgaard B, Willumsen T, Tveit AB:

The protective effect of TiF_4 , SnF_2 and NaF on erosion of enamel by hydrochloric acid in vitro measured by white light interferometry.

Caries Res 40: 440-443 (2006)

Imfeld T:

Dental erosion. Definition, classification and links.

Eur J Oral Sci 104: 151-155 (1996)

Jeaggi T, Lussi A:

Prevalence, incidence and distribution of erosion.

Monogr Oral Sci 25: 55-73 (2014)

Klimek J, Hellwig E, Ahrens G:

Der Einfluss von Plaque auf die Fluoridstabilität im Schmelz nach Applikation von Aminfluorid im künstlichen Mund.

Dtsch Zahnärztl Z 37: 836-840 (1982)

Lussi A, Carvalho TS:

Erosive tooth wear: A multifactorial condition of growing concern and increasing knowledge.

Monogr Oral Sci 25: 1-15 (2014)

Lussi A, Jaeggi T:

Erosion - diagnosis and risk factors.

Clin Oral Investig 12: 5-13 (2008)

Lussi A, Megert B, Shellis RP, Wang X:

Analysis of the erosive effect of different dietary substances and medications.

Br J Nutr 107: 252-262 (2012)

Lussi A, Schaffner M, Jaeggi T, Grüninger A:

Erosionen Befund-Diagnose-Risikofaktoren-Prävention-Therapie.

Schweiz Monatsschr Zahnmed 115: 917-935 (2005)

Lussi A, Schlueter N, Rakhmatullina E, Ganss C:

Dental erosion - an overview with emphasis on chemical and histopathological aspects.

Caries Res 45: 2-12 (2011)

Meurman JH, Rytömaa I, Kari K, Laakso T, Murtomaa H:

Salivary pH and glucose after consuming various beverages, including sugar-containing drinks.

Caries Res 21: 353-359 (1987)

Meurmann JH, Frank RM:

Progression and surface ultrastructure of in vitro caused erosive lesions in human and bovine enamel.

Caries Res 25: 81-87 (1991)

Nahás Pires Corrêa MS, Nahàs Pires Corrêa AF, Nahàs Pires Corrêa JP, Murakami C, Mendes FM:

Prevalence and associated factors of dental erosion in children and adolescents of a private dental practice.

Int J Pediatr Dent 21: 451-458 (2011)

Nikiforuk G:

Understanding dental caries. Bd 1.

Karger, Basel (1985)

Oesterle LJ, Shellhart WC, Belanger GK:

The use of bovine enamel in bonding studies.

Am J Orthodont and Dentofacial Orthop 114: 514-519 (1998)

Øgaard B:

CaF₂ Formation : Cariostatic properties and factors of enhancing the effect.

Caries Res 35: 40-44 (2001)

Petzold M:

The influence of different fluoride compounds and treatment conditions on dental enamel: a descriptive in vitro study of the CaF₂ precipitation and microstructure.

Caries Res 35: 45-51 (2001)

Rakhmatullina E, Beyeler B, Lussi A:

Inhibition of enamel erosion by stannous and fluoride containing rinsing solutions.

Schweiz Monatsschr Zahnmed 123: 192-198 (2013)

Schlueter N, Druan A, Klimek J, Ganss C:

Investigation of the effect of various fluoride compounds and preparations thereof on erosive tissue loss in enamel in vitro.

Caries Res 43: 10-16 (2009)

Schlueter N, Klimek J, Ganss C:

Effect of stannous and fluoride concentration in a mouth rinse on erosive tissue loss in enamel in vitro.

Arch Oral Biol 54: 432-436 (2009)

Schlueter N, Klimek J, Ganss C:

Efficacy of tin-containing solutions on erosive mineral loss in enamel and dentine in situ.

Clin Oral Investig 15: 361-367 (2011)

Schlueter N, Neutard L, von Hinckeldey J, Klimek J, Ganss C:

Tin and fluoride as anti-erosive agents in enamel and dentine in vitro.

Acta Odontol Scand 68: 180-184 (2010)

Schweizer-Hirt CM:

Erosion und Abrasion des Schmelzes: eine experimentelle Studie.

Zürich (1978)

Shellis RP, Featherstone JDB, Lussi A:

Understanding the chemistry of dental erosion.

Monogr Oral Sci 25: 163-179 (2014)

Shellis RP, Finke M, Eisenburger M, Parker DM, Addy M:

Relationship between enamel erosion and liquid flow rate.

Eur J Oral Sci 113: 232-238 (2005)

Smith BGN:

Dental erosion, attrition and abrasion.

Practitioner 214: 347-355 (1975)

Stephen KW, McCrossan J, Mackenzie D, Macfarlane CB, Speirs CF :

Factors determining the passage of drugs from blood into saliva.

Br J Clin Pharmacol 9: 51-55 (1980)

Wegehaupt FJ, Schneiders V, Wiegand A, Schmidlin PR, Attin T:

Influence of two different fluoride compounds and an in vitro pellicle on the amount of KOH-soluble fluoride and its retention after toothbrushing.

Acta Odontol Scand 67: 355-359 (2009)

Wegehaupt FJ, Sener B, Attin T, Schmidlin PR:

Application of cerium chloride to improve the acid resistance of dentine.

Arch Oral Biol 55: 441-446 (2010)

Wiegand A, Attin T:

Einsatz von Fluoriden in der Prävention von dentalen Erosionen.

Oralprophylaxe Kinderzahnheilk 32: 28-32 (2010)

Wiegand A, Bichsel D, Magalhaes AC, Becker K, Attin T:

Effect of sodium, amine and stannous fluoride at the same concentration and different pH on in vitro erosion.

J Dent 37: 591-595 (2009)

Wiegand A, Egert S, Attin T:

Toothbrushing before or after an acidic challenge to minimize tooth wear? An in situ/ ex vivo study.

Am J Dent 21: 13-16 (2008)

Wiegand A, Köwing L, Attin T:

Impact of brushing force on abrasion of acid-softened and sound enamel.

Arch Oral Biol 52: 1043-1047 (2007)

Wiegand A, Laabs KA, Gressmann G, Roos M, Magalhaes AC, Attin T:

Protection of short-time enamel erosion by different tetrafluoride compounds.

Arch Oral Biol 53: 497-502 (2008)

Wiegand A, Waldheim E, Sener B, Magalhaes AC, Attin T:

Comparison of the effects of TiF₄ and NaF solutions at pH 1.2 and 3.5 on enamel erosion in vitro.

Caries Res 43: 269-277 (2009)

Young A, Thrane PS, Saxegaard E, Jonski G, Rølla G:

Effect of stannous fluoride toothpaste on erosion-like lesions: an in vivo study.

Eur J Oral Sci 114: 180-183 (2006)

Zero DT, Lussi A:

Erosion – chemical and biological factors of importance to the dental practitioner.

Int Dent J 55: 285-290 (2005)

Zero DT, Lussi A:

Etiology of enamel erosion – intrinsic and extrinsic factors.

In: Addy M, Embery G, Edgar WM, Orchardson E (Hrsg.): Tooth wear and sensitivity.

Martin Dunitz, London: S. 121-139 (2000)

Zipkin I, McClure FJ:

Salivary citrate and dental erosion.

J Dent Res 28: 613-626 (1949)

10 Danksagung

Für die Überlassung des Themas möchte ich mich ganz herzlich bei Prof. Dr. med. dent. Thomas Attin bedanken.

Mein Dank gilt besonders Herrn Dr. med. dent. Florian Wegehaupt für die tatkräftige und sehr hilfsbereite Unterstützung, wie auch die jeweils prompte Beantwortung meiner Fragen. Dies ermöglichte ein speditives Voranschreiten der Arbeit.

Für die stets wertvolle Unterstützung im Labor bedanke ich mich bei Herrn Klaus Becker und seinem Team. Auch möchte ich Frau Beatrice Sener danken, welche immer ein offenes Ohr für Fragen im Bereich Chemie hatte.

Dank der Hilfe von Frau Dr. Roos konnten die statistischen Analysen problemlos gemeistert werden.

Zuletzt gilt mein Dank auch meiner Familie für die ständige Unterstützung und Begleitung während meines Studiums.

Ich erkläre ausdrücklich, dass es sich bei der von mir im Rahmen des Studiengangs Zahnmedizin eingereichten schriftlichen Arbeit mit dem Titel Einfluss des pH-Wertes erosiver Attacken auf das anti-erosive Potential einer Zinnchlorid-haltigen Mundspülung um eine von mir selbst und ohne unerlaubte Beihilfe, sowie in eigenen Worten verfasste Inaugural-Dissertation handelt.